



21 Aktenzeichen: 196 43 109.3  
22 Anmeldetag: 21. 10. 96  
43 Offenlegungstag: 23. 4. 98

71 Anmelder:  
Geotec Systeme für saubere Umwelt GmbH & Co  
KG i.K., 48268 Greven, DE

72 Erfinder:  
Tippkötter, Reiner, 48268 Greven, DE; Tenbrink,  
Jürgen, 48565 Steinfurt, DE; Mohr, Markus Alfred,  
Dr., 44795 Bochum, DE; Ziolk, Andreas, 45661  
Recklinghausen, DE

56 Entgegenhaltungen:  
DE 43 40 872 A1  
DE 32 34 679 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Einrichtung zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung. Bei einem Blockheizkraftwerk mit einer Holzvergasungsanlage zur Versorgung des Gasmotors mit aus der Holzvergasung gewonnenem Schwachgas ist gemäß der Erfindung vorgesehen, daß Stirling-Motoren in die Anlage integriert sind. Ein erster Stirling-Motor wird zur Abkühlung des heißen Brenngases aus der Holzvergasung verwendet, mit einem zweiten Stirling-Motor wird die Abgaswärme des Gasmotors ausgenutzt. Auf diese Art und Weise wird ein Großteil der ansonsten nicht genutzten Abwärme in mechanische Energie umgesetzt. Die Stirling-Motoren treiben jeweils Generatoren zur Stromerzeugung.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung, folgende Verfahrensschritte umfassend:

- a) Erzeugen eines heißen Brenngases,
- b) Abkühlen des Brenngases und
- c) Betreiben wenigstens einer Verbrennungskraftmaschine mit dem abgekühlten Brenngas unter Ausnutzung der von der Verbrennungskraftmaschine erzeugten mechanischen und thermischen Energie.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Einrichtung zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung, insbesondere zur Durchführung des zuvor genannten Verfahrens, mit wenigstens einem Brenngaserzeuger zum Betrieb wenigstens einer Verbrennungskraftmaschine, wobei das Brenngas als Heißgas anfällt, und mit Mitteln zur Abkühlung des Brenngases vor seiner Verbrennung.

Es sind verschiedenste Verfahren zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung bekannt, die hauptsächlich bei der Betreibung von sogenannten Blockheizkraftwerken Anwendung finden. Beiden bekannten Verfahren wird fester oder flüssiger Brennstoff, beispielsweise in Form von Erdgas oder Erdöl zur Erzeugung von Fernwärme und Strom genutzt. Die wirkungsvollste Maßnahme, Wärme mit höchstem Wirkungsgrad auszunutzen, bedeutet Hintereinanderschaltung von Kraftherzeugungsanlagen und Heiznetzen, so daß Abdampf oder Abgase und Abwärme von Kraftmaschinen für Wärmezwecke nutzbar gemacht werden. Die Kraft-Wärmekopplung findet sowohl bei Dampfkraftanlagen als auch bei Gasturbinen und Dieselmotoren oder Ottomotoren Anwendung. Auch ist in Stand der Technik die Verwendung von Gasmotoren zur Verbrennung von Schwachgas oder dergleichen bekannt. Bei 100% Brennstoffenergieeinsatz erzielen derartige Anlagen Gesamtwirkungsgrade von ca. 75%, wobei ca. 27% in Form von Strom und bis zu 48% in Form von Nutzwärme anfallen.

Typische Kraft-Wärmekopplungsanlagen bestehen aus wenigstens einer Kraftmaschine, einem dieser Kraftmaschine zugeordneten Generator und einem Wärmetauscher mit Wasser oder Öl als Wärmetauschermedium. Dieser Wärmetauscher kann beispielsweise an den Kühlkreislauf einer Kraftmaschine beispielsweise einer Verbrennungskraftmaschine angeschlossen sein.

Zur Wirkungsgradsteigerung bekannter Anlagen, die nach dem Prinzip der Kraft-Wärmekopplung betrieben werden, ist man dazu übergegangen, auch die Abgaswärme von Verbrennungskraftmaschinen mittels Abgaswärmetauschern zu nutzen. Hierdurch wird zwar der Wirkungsgrad der Abwärmenutzung, d. h. der thermische Wirkungsgrad der Anlagen verbessert, der Absatz so gewonnener Wärme ist jedoch grundsätzlich problematisch, da die zur Verfügung stehende Wärme nicht immer nutzbar ist. Beispielsweise die von Blockheizkraftwerken erzeugte Fernwärme wird in den Sommermonaten weniger benötigt als in den Wintermonaten. Eine Speicherung der Wärme ist problematisch und mit hohen Energieverlusten verbunden. Der Absatz von Strom hingegen ist ganzjährig gewährleistet, wobei immer eine Einspeisung in das Netz erfolgen kann. Strom besitzt im Gegensatz zu Nutzwärme eine vergleichsweise höhere Energiewertigkeit (Exergie), jedoch ist es bislang nicht gelungen, den elektrischen Wirkungsgrad bekannter Anlagen zu steigern. Auch ist die Ausnutzung der in solchen Anlagen anfallenden potentiellen Nutzwärme noch steigerungsbedürftig.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren sowie eine Einrichtung der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, daß eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades, insbesondere eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades erzielt wird.

Diese Aufgabe wird zunächst dadurch gelöst, daß bei dem Verfahren der eingangs genannten Art die Abkühlung des Brenngases unter Ausnutzung eines Stirling-Kreisprozesses erfolgt. Der Stirling-Kreisprozeß als geschlossener Kreisprozeß mit äußerer Wärmezufuhr bietet die ideale Möglichkeit, die Wärme von heißem Brenngas aber auch von heißen Abgasen in mechanische bzw. elektrische Energie umzusetzen, ohne die Zusammensetzung des Gases in irgendeiner Weise zu beeinflussen. Hierdurch läßt sich in vorteilhafter Weise der effektive elektrische Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung steigern. Auf diese Art und Weise kann der elektrische Wirkungsgrad von 25% auf 31% erhöht werden.

In Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß das Brenngas durch Holzvergasung erzeugt wird. Einerseits ist die Vergasung von Holz energetisch und ökologisch zur Strom- und Wärmeerzeugung besonders sinnvoll, andererseits fällt das bei der Vergasung erzeugte Gas ohnehin als Heißgas an, das vor seiner Verbrennung der weiteren Kühlung und Aufbereitung bedarf. Die Ausnutzung eines Stirling-Kreisprozesses zur Abkühlung des Heißgases bietet darüber hinaus den Vorzug, daß ansonsten erforderliche Kühlaggregate, die die dem Heißgasstrom entzogene Wärme an die Umgebung abgeben, entbehrlich sind.

Bei einer bevorzugten Ausführung des Verfahrens wird die Abgaswärme der Verbrennungskraftmaschine als Wärmezufuhr für einen zweiten Stirling-Kreisprozeß genutzt. Hierdurch ergibt sich nochmals in vorteilhafter Art und Weise eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrads bis auf 35%.

Zweckmäßigerweise wird die durch die Stirling-Kreisprozesse gewonnene Energie zur Stromerzeugung verwendet.

In vorteilhafter Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der Erfindung ist vorgesehen, daß bei der Holzvergasung Holzabfälle in Schwachgas umgesetzt werden. Unter Holzabfällen kann sowohl Rohholz aus Wald und Flur als auch Industrierestholz oder anderes Altholz Verwendung finden. Der Vergasungsprozeß von Holzabfällen in Schwachgas ist CO<sub>2</sub>-neutral und stellt eine energetisch besonders günstige Ausnutzung des eingesetzten Brennstoffs dar.

Zweckmäßigerweise wird das Schwachgas nach Abkühlung in dem Stirling-Kreisprozeß wenigstens einem Gasmotor als Verbrennungskraftmaschine zugeführt.

Die Einrichtung zur Strom- und Wärmeerzeugung der eingangs genannten Art zeichnet sich dadurch aus, daß zur Abkühlung des Brenngases wenigstens ein Stirling-Motor vorgesehen ist, der die Wärme des Brenngases ausnutzt. Stirling-Motoren bzw. Heißgasmotoren zeichnen sich durch außerordentlich niedrige Abgas- und Geräuschemissionen sowie gute Wirkungsgrade aus. Sie eignen sich besonders zum Einsatz als Stationärmotoren und damit hervorragend zum Antrieb eines Generators. Die Wärmeenergie des Brenngases läßt sich auf diese Art und Weise problemlos in elektrische Energie umsetzen.

Die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zeichnet sich durch eine Holzvergasungsanlage als Brenngaserzeuger aus.

Vorzugsweise ist der Verbrennungskraftmaschine ein zweiter Stirling-Motor zur Ausnutzung deren Abgaswärme nachgeschaltet.

Zweckmäßigerweise ist jedem der Stirling-Motoren jeweils ein Generator zur Stromerzeugung zugeordnet.

Als Verbrennungskraftmaschine kann ein an sich bekannter Gasmotor Anwendung finden.

Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung, den Wirkungsgrad bei einer Einrichtung zur Stromerzeugung mit wenigstens einer Verbrennungskraftmaschine, vorzugsweise mit einem Gasmotor zur Erzeugung mechanischer und/oder elektrischer Energie zu verbessern. Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch einen Gasmotor mit nachgeschaltetem Stirling-Motor als Abgaswärmeumsetzer.

Bislang wurden Stirling-Motoren oder Heißgasmotoren im stationären Betrieb ausschließlich als Alternative zu Motoren mit innerer Verbrennung, beispielsweise Ottomotoren, Dieselmotoren oder Gasmotoren in Betracht gezogen. Es hat sich aber überraschenderweise gezeigt, daß gerade eine Kombination von Gasmotoren und Stirling-Motoren im stationären Betrieb besonders sinnvoll ist und daß bei einer solchen Kombination ein hoher Gesamtwirkungsgrad erzielt wird.

Als alternative Brennstoffquelle zur Holzvergasung kommen beispielsweise Biogasanlagen mit durch Vergärung erzeugtem Gas, Deponiegas, Klärgas, Pyrolysegas, Koksgas oder sonstige Gase aus der chemischen Industrie in Betracht. Bei Verbrennung von Kaltgasen wie beispielsweise Deponiegas und Klärgas ist bereits die Verwendung nur eines Stirling-Motors als Abgaswärmeumsetzer vorteilhaft.

Die Erfindung wird nachstehend beispielsweise anhand eines in der Zeichnung dargestellten Blockschaltbilds erläutert werden.

In dem Ausführungsbeispiel ist die Erfindung in einem Blockheizkraftwerk mit Holzvergasungsanlage verwirklicht.

Mit **1** ist ein als Silo ausgebildetes Brennstofflager bezeichnet, das als Brennstoff Holz bzw. Holzabfälle aufnimmt. Als Brennstoff kommen Resthölzer der holzbearbeitenden und -verarbeitenden Industrie, Althölzer oder auch Abfallholz aus Forst- und Flurbereinigungen in Betracht.

Der Brennstoff wird über ein Fördersystem **2** einem Vergaser **3** zugeführt, bei welchem der Brennstoff bei Vergasungstemperaturen von bis zu 2.000° unter Sauerstoffunterschub vergast wird. Als Rückstand bei der Vergasung fällt größtenteils Schlacke mit einem geringen Anteil Asche an, der getrennt entsorgt wird. Das heiße Brenngas wird in der Entstaubungsanlage **4** entstaubt und anschließend in einem ersten Stirling-Motor **5** abgekühlt. Hierbei liefert das heiße Brenngas die äußere Energiezufuhr für das in einem geschlossenen Kreisprozeß geführte Arbeitsmedium. Der Stirling-Motor **5** treibt einen nicht dargestellten Generator zur Stromerzeugung an.

Das abgekühlte Brenngas wird anschließend einer mit **6** bezeichneten weiteren Gasaufbereitung unterzogen, wobei hier unter Gasaufbereitung beispielsweise Entwässerung und Filtrierung des Schwachgases zu verstehen ist. Das Schwachgas wird dann mit Hilfe eines nicht dargestellten Verdichters zu einem Blockheizkraftwerk gefördert, von welchem der Einfachheit halber nur der Gasmotor **7** dargestellt ist. Der Gasmotor **7** treibt einerseits einen ebenfalls nicht dargestellten Generator zur Stromerzeugung, andererseits wird beispielsweise mittels eines Wärmetauschers mit Wasser oder Öl als Wärmeträgermedium beispielsweise die über den Motorkühlkreislauf freigesetzte Wärme als Nutzwärme abgeführt.

Das Abgas des Gasmotors **7** wird wiederum einem zweiten Stirling-Motor **8** zugeführt, der ebenfalls über einen Generator Strom erzeugt.

Auf diese Art und Weise wird der elektrische Gesamtwirkungsgrad der Anlage deutlich erhöht.

## Bezugszeichenliste

- 1** Brennstofflager
- 2** Fördersystem
- 3** Holzvergaser
- 4** Entstaubungsanlage
- 5** erster Stirling-Motor
- 6** Gasaufbereitung
- 7** Gasmotor
- 8** zweiter Stirling-Motor

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung, folgende Verfahrensschritte umfassend:

- a) Erzeugen eines heißen Brenngases,
  - b) Abkühlen des Brenngases und
  - c) Betreiben wenigstens einer Verbrennungskraftmaschine mit dem abgekühlten Brenngas unter Ausnutzung der von der Verbrennungskraftmaschine erzeugten mechanischen und thermischen Energie,
- dadurch gekennzeichnet, daß die Abkühlung des Brenngases unter Ausnutzung eines Stirling-Kreisprozesses erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Brenngas durch Holzvergasung erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgaswärme der Verbrennungskraftmaschine als Wärmezufuhr für einen zweiten Stirling-Kreisprozeß genutzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Stirling-Kreisprozesse gewonnene Energie zur Stromerzeugung verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Holzvergasung Holzabfälle in Schwachgas umgesetzt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Schwachgas nach Abkühlung durch den Stirling-Kreisprozeß wenigstens einem Gasmotor als Verbrennungskraftmaschine zugeführt wird.

7. Verfahren zum Betreiben eines Blockheizkraftwerks mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 6.

8. Einrichtung zur Strom- und Wärmeerzeugung mittels Kraft-Wärmekopplung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit wenigstens einem Brenngaserzeuger zum Betrieb wenigstens einer Verbrennungskraftmaschine, wobei das Brenngas als Heißgas anfällt, und mit Mitteln zur Abkühlung des Brenngases vor seiner Verbrennung, dadurch gekennzeichnet, daß zur Abkühlung des Brenngases wenigstens ein Stirling-Motor vorgesehen ist, der die Wärme des Brenngases ausnutzt.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch eine Holzvergasungsanlage als Brenngaserzeuger.

10. Einrichtung nach Anspruch 8 oder 9, gekennzeichnet durch einen zweiten, der Verbrennungskraftmaschine nachgeschalteten Stirling-Motor (**8**) zur Ausnutzung der Abgaswärme der Verbrennungskraftmaschine.

11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß den Stirling-Motoren (**5**, **8**) jeweils ein Generator zur Stromerzeugung zugeordnet ist.

12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß als Verbrennungskraftmaschine ein Gasmotor (7) vorgesehen ist.

13. Einrichtung zur Stromerzeugung mit wenigstens einer Verbrennungskraftmaschine vorzugsweise mit einem Gasmotor zur Erzeugung mechanischer und/oder elektrischer Energie, gekennzeichnet durch die Nachschaltung eines Stirling-Motors als Abgaswärmeumsetzer.

10

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**THIS PAGE BLANK (US)**

- Leerseite -

